

再生骨材を利用したコンクリート構造物の塩害劣化予測と環境負荷評価について

早稲田大学 学生会員 ○上野 萌
 早稲田大学 重森 大佑
 早稲田大学大学院 堂園 菜緒子
 早稲田大学 正会員 関 博

1. はじめに

年間約8千万トン排出される建設廃棄物のうち40%強を占めているのがコンクリート塊であり、高度経済成長期に建設された既存の施設の撤去により、今後その量は増加すると考えられる。さらに普通骨材の供給不足が懸念される今日、コンクリート塊の再生骨材としての利用は必要不可欠である。そのような状況を鑑み、これまでに3種類の再生骨材がJISにより規定されている^{1) 2) 3)}。そのうち2005年に規定された再生骨材Hは普通骨材と同等の品質を有しており、高品質再生骨材の実構造物への利用が期待される。本研究では再生骨材Hを用いた再生骨材コンクリート構造物の環境負荷をLCAの手法を用いて評価した。評価を行うに当たり、普通骨材コンクリートと再生骨材コンクリートの耐用年数を想定するために、塩化物イオンの拡散係数を求める実験を実施し、塩害劣化予測を行った。

2. 実験

(1) 実験概要

塩害を受けるRC構造物の劣化予測には、コンクリートの塩化物イオン拡散係数が必要である。2007年制定のコンクリート標準示方書〔設計編〕⁴⁾にはセメントの違いによって、拡散係数がW/Cの関数として示されているが、使用骨材による拡散係数の違い等については記述されていない。そこで、本研究では普通ポルトランドセメントを選び、普通骨材および再生骨材の組み合わせによる7種類の供試体を作製し、圧縮強度試験と電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験を行った。

表-1に使用骨材の記号と種類、表-2に各種骨材の特性、表-3に供試体のシリーズ名と骨材の組合せを示す。

(2) 供試体の作製

供試体としては円柱供試体(φ100mm×200mm)を作製し、圧縮強度試験および拡散係数試験に供した。

本実験では全てのシリーズのフレッシュコンクリートで水セメント比W/C:55%, スランプ:8±2.5cm, 空気量を6±1.5%に設定した。表-4に各シリーズの示方配合と測定されたスランプおよび空気量を示す。

表-1 骨材の記号と種類

記号	種類
V	普通粗骨材(砕石) (岩質:硬質砂岩, 産地:東京都青梅市)
v	普通細骨材(混合砂:川砂25%, 陸砂75%) (産地:茨城県土浦市川口新港(川砂), 熊谷市大字大麻生(陸砂))
R ₁	再生粗骨材(製造方法:加熱すりもみ法)
r ₁	再生細骨材(製造方法:加熱すりもみ法)
R ₂	再生粗骨材(製造方法:比重選別法)
r ₂	再生細骨材(製造方法:比重選別法)

表-2 各種骨材の物理的性質

項目	粗骨材			細骨材		
	V	R ₁	R ₂	v	r ₁	r ₂
密度(g/cm ³)	2.64	2.57	2.54	2.56	2.32	2.46
吸水率(%)	0.49	1.79	2.84	1.9	5.97	4.07
実積率(%)	60.2	60.8	—	66.4	63.2	—
粗粒率	6.38	6.44	6.75	2.81	3.31	2.77

粗骨材の最大寸法:15mm

表-3 供試体のシリーズと骨材の組合せ

シリーズ名	粗骨材			細骨材		
	V	R ₁	R ₂	v	r ₁	r ₂
Vv	○			○		
R ₁ r ₁		○			○	
R ₁ v		○		○		
Vr ₁	○				○	
R ₂ r ₂			○			○
R ₂ v			○	○		
Vr ₂	○					○

キーワード LCA, 環境負荷評価, 再生骨材, 拡散係数, 劣化予測

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 51号館 16F-09

表-4 各シリーズの示方配合

シリーズ名	W/C (%)	スランブ (cm)	空気量(%)		s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			電気泳動用	強度試験用		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE減水剤	空気量調整剤
Vv	55	7	7.5	7.5	49.6	183	332	857	886	830	2987
R ₁ R ₁		6	6.5	9.0	49.6	183	332	856	875	830	1493
R ₁ V		8	6.8	5.0	52.1	186	339	840	824	847	1016
Vr ₁		7	5.0	4.0	52.1	195	354	823	818	443	0
R ₂ R ₂		7.9	4.8		47.1	164	297	791	917	743	595
R ₂ V		7.5	5.0		47.3	164	298	826	913	745	596
Vr ₂		6.5	5.2		47.1	164	297	791	953	743	595

(3) 実験方法

供試体は打設後材齢1日で脱型し、その後水中養生を継続した。材齢28日の時点でJIS A 1108に準拠して圧縮強度試験を実施した。

拡散係数の供試体は円柱供試体をダイヤモンドカッターで切断し、中央部（直径100mm、厚さ50mm）を実験に供した。拡散係数の試験方法はJSCE-G571-2003「電気泳動によるコンクリート中の塩化物イオンの実効拡散係数試験方法（案）」⁵⁾により実施した。

3. 実験結果

(1) 圧縮強度試験

圧縮強度試験の結果を表-5に示す。これによると骨材の相違による明確な差は認められなかった。

表-5 圧縮強度試験の結果(材齢28日)

シリーズ名	Vv	R ₁ R ₁	R ₁ V	Vr ₁	R ₂ R ₂	R ₂ V	Vr ₂
圧縮強度 (N/mm ²)	40.7	38.6	38.2	37.9	31.4	33.4	45.4

(2) 見掛けの拡散係数

電気泳動試験の結果から得られた実効拡散係数から、JSCE-G571-2003に示される計算方法によって見掛けの拡散係数を算出した。その結果を図-1に示す。また、見掛けの拡散係数とW/Cの関係を図-2に示す。本図では文献⁵⁾に示されている拡散係数も併せて示している。

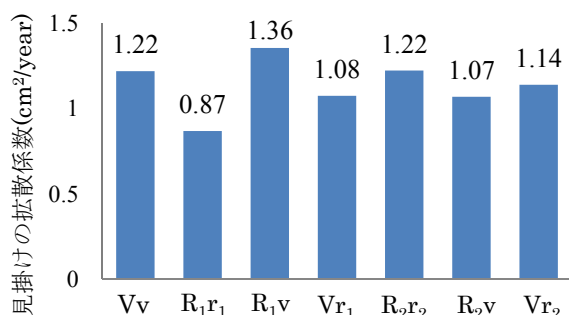


図-1 見掛けの拡散係数計算結果

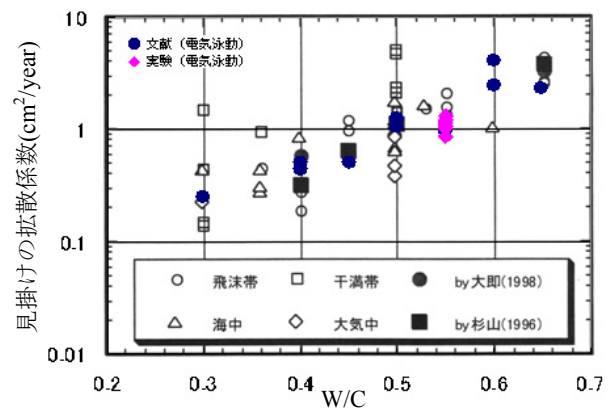


図-2 見掛けの拡散係数と W/C の関係

図-2から、本実験で得られた結果は既往の研究の結果とほぼ類似しており、これを塩害劣化予測に用いても問題ないことがわかる。

4. 塩害による劣化予測

塩害環境下にあるRC 栈橋を対象として、各シリーズにおいて塩害劣化予測を行った。今回の実験で得られた見掛けの拡散係数と表-6に示す基本条件を用いて、構造物の建替えまでの時間を計算した。なお、鉄筋の限界腐食量は主鉄筋（曲げ）の断面減少率が10%となった時点とした。劣化予測の結果を図-3に示す。

図-3より、劣化予測の結果は最大でも3.5年程度の差しかなく骨材の相違による有意な差は見られなかった。

表-6 劣化予測に用いる基本条件

項目	数値
表面塩化物イオン量 (kg/m ³)	13 ⁴⁾
かぶり (mm)	70
鉄筋径 (mm)	16
鉄筋腐食限界塩化物イオン濃度 (kg/m ³)	1.2 ⁴⁾
ひび割れ発生時の腐食量 (mg/cm ²)	20 ⁶⁾
ひび割れ発生前の腐食速度 (mg/cm ² /年)	1.2 ⁷⁾
ひび割れ発生後の腐食速度 (mg/cm ² /年)	12.4 ⁷⁾

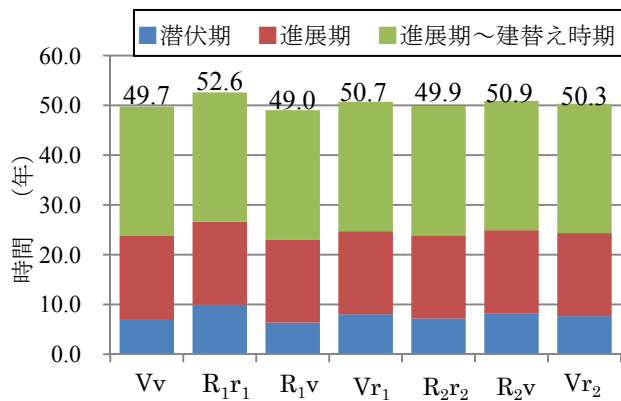


図-3 塩害劣化予測の結果

5. LCA の評価

実験の結果から 7 つのシリーズ全てにおいて強度、劣化予測に大きな相違は認められない。よってどのシリーズの配合でも同等の品質のコンクリート構造物ができることを仮定して、LCA 評価を行った。なお、再生骨材での製造方法の相違による大きな差も見られなかったため、評価を行う対象は Vv および R₁r₁・R₁v・Vr₁ とした。

実験で実際に使用した配合をもとに RC 栈橋 (合計コンクリート使用量 184m³) を 4 つの工程を仮定し、その際に排出される CO₂, SO_x, NO_x の量を文献 8) の原単位を用いて、インベントリ分析 (LCCO₂, LCSO_x, LCNO_x) を行った。その際の 4 つの工程を図-4 から図-7 に、インベントリ分析の結果を図-8 から図-10 に示す。

また解体ステージでは、Vv: コンクリート塊を 100% 安定型処理, R₁r₁: コンクリート塊を 100% 加熱すりもみ法によりリサイクル, R₁v: コンクリート塊の 70% を加熱すりもみ法によりリサイクル・30% は安定型処理, Vr₁: コンクリート塊の 65% を加熱すりもみ法によりリサイクル・35% は安定型処理とする。これは立屋敷らの研究⁹⁾でも述べられている通り、加熱すりもみ法では原コンクリート塊の 35% を粗骨材, 30% を細骨材, 35% を副産微粉として再利用できるためである。

また各ステージの輸送距離は立屋敷らの研究¹⁰⁾により、全て 10t トラックで行い、輸送距離もそれに従った。それぞれの輸送距離は図に示した通りである。なお、今回の調査では天然骨材を利用する際の自然採掘における環境負荷については考慮していない。

インベントリ分析の結果から、LCCO₂, LCSO_x, LCNO_x 全てにおいて有意な差は見られなかった。

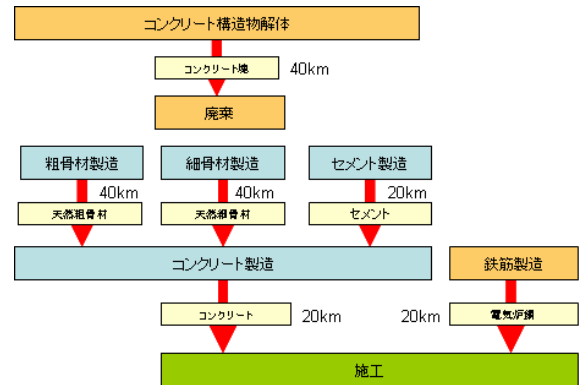
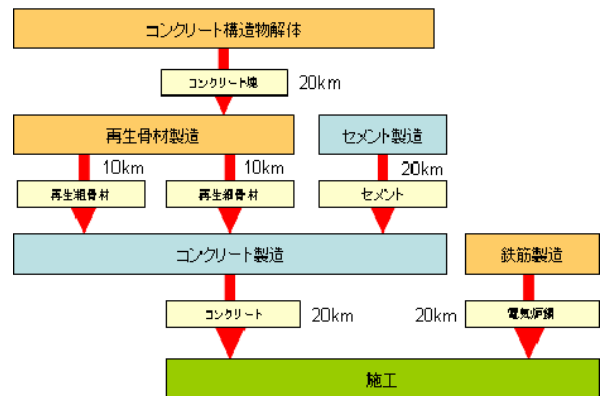
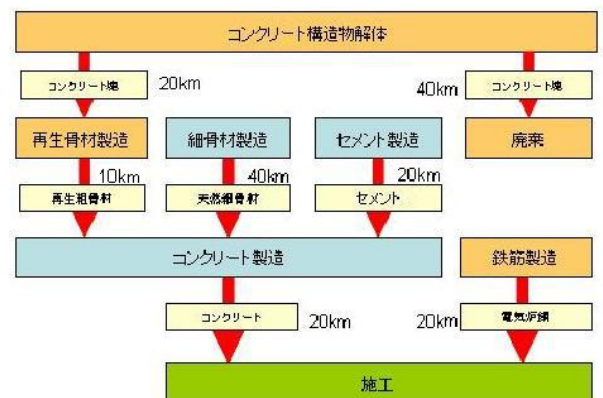
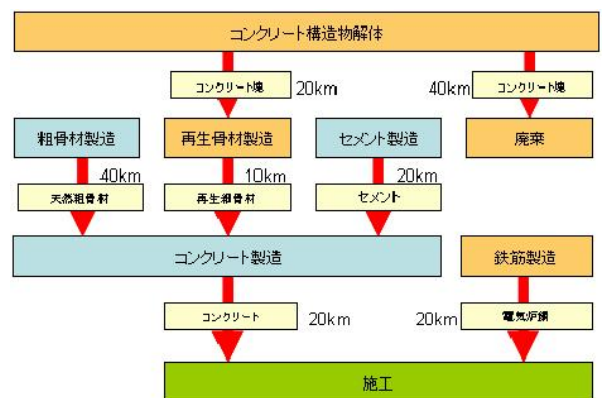
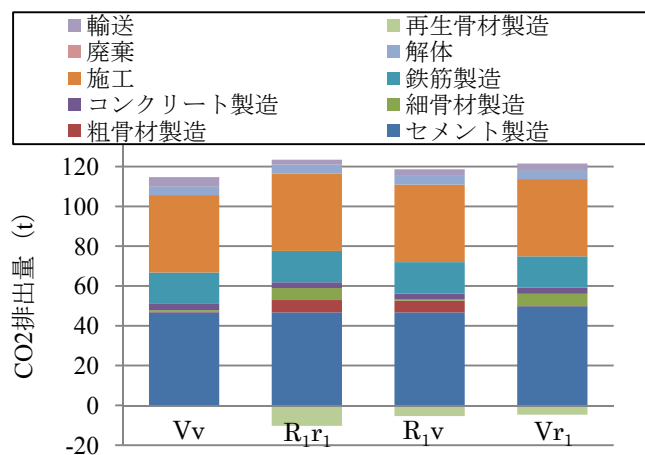
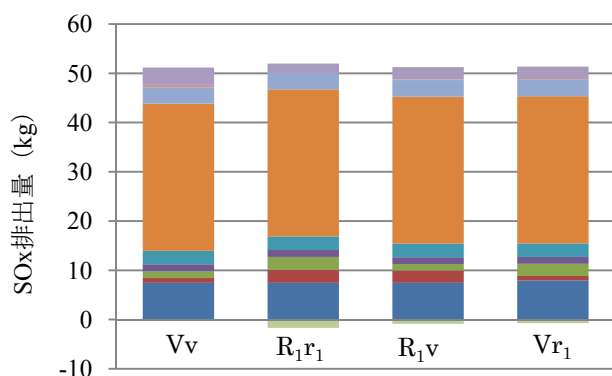
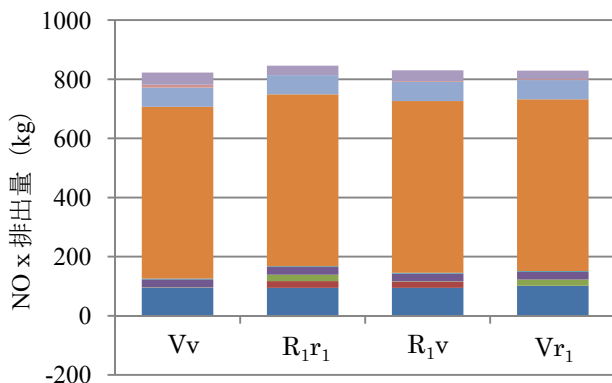


図-4 解体後再び天然骨材のみを使った工程 (Vv)

図-5 解体後全ての骨材を再利用した工程 (R₁r₁)図-6 解体後粗骨材のみ再利用、細骨材は天然のものを利用した工程 (R₁v)図-7 解体後細骨材のみ再利用、粗骨材は天然のものを利用した工程 (Vr₁)

図-8 各シリーズの LCCO₂図-9 各シリーズの LCSO_x図-10 各シリーズの LCNO_x

6. まとめ

今回使用した再生骨材の範囲では、以下のことがわかった。

- (1) 骨材の違いによる見掛けの拡散係数に有意な差は認められなかった。
- (2) 本実験で求めた拡散係数を用いた塩害劣化予測の結果に有意な差は認められなかった。
- (3) LCA 評価では、骨材の違いによる環境負荷 (LCCO₂, LCSO_x, LCNO_x) に有意な差は認められなかった。

なお、本研究は、早稲田大学特定課題研究助成費 (2008B-143) によって実施したものである。

【参考文献】

- 1) 財団法人 日本規格協会：JIS A 5021 コンクリート用再生骨材 H, 2005.3.
- 2) 財団法人 日本規格協会：JIS A 5022 再生骨材 M を用いたコンクリート, 2007.3.
- 3) 財団法人 日本規格協会：JIS A 5023 再生骨材 L を用いたコンクリート, 2006.3.
- 4) 土木学会：2007 年制定 コンクリート標準示方書 [設計編], 2007.3.
- 5) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 55 コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と基準化が望まれる試験方法の動向, 2003.9.
- 6) 関博, 伊藤昇：鉄筋の腐食による軸方向ひびわれの発生機構について, セメント技術年報, 36, p429, 1981.
- 7) 伊庭孝充, 松島学, 関博, 川田秀夫：塩害を受ける RC 構造物のライフサイクルコスト算定手法に関する基礎的研究, 土木学会論文集, vol.55, No.704, pp1~11, 2002.5.
- 8) 土木学会：コンクリートライブラリー125 コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案), 2005.11.
- 9) 島 裕和, 立屋敷 久志, 橋本 光一, 西村 祐介：加熱すりもみ法によるコンクリート塊からの高品質骨材回収の LCA 評価, コンクリート工学年次論文集, vol.23, No.2, pp67~72, 2001.
- 10) 島 裕和, 立屋敷 久志, 吉田 好邦, 松橋 隆治：加熱すりもみ法による高品質再生骨材のライフサイクル分析, 電学論 C, vol.123, No.10, pp1680~1687, 2003.